

# MATERIALE ȘI APLICAȚII DEZVOLTATE ÎN DOMENIUL INGINERIEI ELECTRICE

Dr. ing. fiz. Eros Alexandru PĂTROI<sup>1</sup>, Ș.I. dr. ing. Adelina BORDIANU<sup>2</sup>,  
Prof. univ. dr. ing. Gheorghe SAMOILESCU<sup>3</sup>, Prof. dr. fiz. Wilhelm KAPPEL<sup>1</sup>,  
Dr. ing. Eugen MANTA<sup>1</sup>, Dr. ing. Gabriela GEORGESCU<sup>1</sup>, Dr. ing. Teodora MALAERU<sup>1</sup>,  
Dr. ing. Mirela CODESCU<sup>1</sup>, Dr. ing. Delia PĂTROI<sup>1</sup>, Dr. ing. Georgeta, ALECU<sup>1</sup>,  
Dr. ing. Alexandru, IORGA<sup>1</sup>, Dr. ing. Florina Emilia CIULEI<sup>1</sup>, Ing. Nicolae STANCU<sup>1</sup>,  
Dr. ing. Elena CHITANU<sup>1</sup>, Dr. ing. Alexandru LIXANDRU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INCDIE ICPE-CA – București, <sup>2</sup> Universitatea Politehnică București,  
<sup>3</sup> Academia Navală „Mircea cel Bătrân” – Constanța

**REZUMAT.** Lucrarea face o descriere a particulelor nanomagnetice și prezintă aplicațiile acestor materiale în practică. O parte din materialele descrise au fost realizate în urma cercetărilor efectuate în cadrul INCDIE ICPE-CA în colaborare cu alte instituții din România. Studiul proprietăților magnetice ale nanomaterialelor este foarte important pentru progresul nanoștiinței și nanotehnologiei, în special datorită faptului că proprietățile magnetice la scară nano diferă de cele în stare bulk. Sunt prezentate sursele de magnetism și parametrii magnetici ai materialelor analizate, cu nivelele lor energetice și performanțele magnetice

**Cuvinte cheie:** particule nanomagnetice, magneti, nanopulberi, generator de câmp, ecrane electromagnetice, microfire

**ABSTRACT.** The paper presents a description of nanomagnetic particles and their applications in practice. Some of the materials described were made following various researches carried out within INCDIE ICPE-CA in collaboration with other institutions from Romania. The study of the magnetic properties of nanomaterials is very important for the advancement of nanoscience and nanotechnology, especially because the magnetic properties at nanoscale level differ from the bulk ones. The magnetic sources and the magnetic parameters of the analyzed materials, with their energy levels and magnetic performances are presented.

**Keywords:** nanomagnetic particles, magnets, nanopowders, field generator, electromagnetic shields, electromagnetic shield, microwires.

## 1. INTRODUCERE

Nanoparticulele magnetice au reprezentat din ce în ce mai mult obiectul cercetărilor începând cu anii 50. Aria lor largă de aplicabilitate se întinde de la medii de înregistrare magnetică și magnetism permanent, până la aplicații biomedicale [1, 2]. Datorită dezvoltării unor tehnici noi de preparare, nanoparticulele magnetice cu dimensiuni mai mici de 10 nm, cu distribuții înguste de mărimi și diferite compoziții pot fi fabricate printr-o varietate de metode.

Particulele magnetice cu dimensiuni nanometrice prezintă noi proprietăți interesante care pot fi atribuite fie proprietăților extrinseci ale particulelor individuale, precum dimensiunea finită, fie efectelor de suprafață și cuplării între particule. Înțelegerea fundamentală a proprietăților chimice, electrice, optice și magnetice a nanomaterialelor a avut o importanță deosebită în ultimele două decenii [1, 2, 3].

Nanoparticulele magnetice reprezintă o clasă specifică de nanomateriale, compuse din cel puțin un element magnetic. Aceste materiale pot fi folosite sub o varietate de forme: în soluție ca ferrofluide pentru boxe audio [2, 3], ca agregate de particule în medii de stocare magnetice [4-9], ca particule funcționalizate pentru aplicații în biosenzoristică [10-18], sub forma de pulberi compacte pentru producerea, condiționarea și convesia energiei [2, 3], în aplicații medicale ce includ livrarea (magnetică) țintită de medicamente [19-24] și agenți de contrast în imagistica prin rezonanță magnetică [25-29].

Studiul proprietăților magnetice ale nanomaterialelor este foarte important pentru progresul nanoștiinței și nanotehnologiei, în special datorită faptului că proprietățile magnetice la scară nano diferă de cele în stare bulk. În funcție de comportarea într-un câmp magnetic aplicat, materialele se împart în: diamagnetice, paramagnetice, feromagnetice, ferimagnetice și antiferomagnetice.

În fiecare atom, fiecare electron posedă o formă intrinsecă de moment unghiular, de spin, care este echivalent cu puterea câmpului magnetic (momentul magnetic) al aceluși electron. Electronii unui atom sunt distribuiți pe anumite nivele energetice în ordine succesivă, și conform principiului excluziunii al lui Pauli, fiecare orbital poate fi ocupat doar de maxim doi electroni cu aceeași stare energetică, de spin opus. Cealaltă sursă de magnetism este dată de mișcarea orbitală a electronului nepereche în jurul nucleului. Momentul magnetic al fiecărei perechi de electroni într-un nivel de energie are direcție opusă și, în consecință, atunci când un nivel de energie este completat, momentul magnetic net este zero. La marea majoritate a elementelor, electronul nepereche se află în stratul de valență și poate interacționa cu electronii de valență ai atomilor vecini, ducând la anularea momentului magnetic în material. Totuși anumite elemente precum cobaltul și fierul au un nivel energetic intern care nu este completat, astfel că fiecare atom metalic are un moment magnetic permanent egal ca putere cu numărul electronilor nepereche [2,30].

### 2. MATERIAL FERITIC Ni-Zn CU PIERDERI REDUSE CU APLICAȚII ÎN ELECTRONICĂ ȘI INDUSTRIA DE APĂRARE PENTRU FILTRE ȘI TRANSFORMATOARE DE BANDĂ LARGĂ

*Descriere:* Materialul feritic Ni-Zn se prezintă sub formă de toruri cu dimensiunile de:

- $(20 \pm 0,5) \times (10 \pm 0,5) \times (3 \pm 0,5)$  mm cu aplicații pentru filtre;
- $(15 \pm 0,5) \times (9 \pm 0,5) \times (6 \pm 0,5)$  mm cu aplicații pentru ecrane și transformatoare.

*Caracteristici:*

- Rezistivitatea electrică:  $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$
- Permeabilitatea inițială:  $> 200$  pentru cele cu aplicații în filtre și  $< 200$  pentru cele cu aplicații în transformatoare și ecrane
- Pierderi totale prin factorul relativ de pierderi  $\text{tg} \delta / \mu_i < 10^{-2}$
- Factor de calitate:  $> 10$  la frecvența de 1 MHz pentru aplicații de filtre și  $< 10$  la frecvența de 1 MHz pentru cele cu aplicații în transformatoare și ecrane
- Câmp coercitiv:  $> 700$  Oe
- Inducția la saturație:  $> 1600$  Gs

*Avantaje:* – Noile compoziții de ferită Ni-Zn și noul procedeu tehnologic de realizare duc la creșterea performanțelor magnetice, permeabilitate, inducție de saturație, pierderi reduse la frecvențe de ordinul MHz.

*Aplicații:* Materialul Feritic Ni-Zn cu pierderi reduse este utilizat pentru aplicații în electronică și industria de apărare pentru filtre și transformatoare.

### 3. MAGNEȚI NANOCOMPOZIȚI PE BAZĂ DE PĂMÂNTURI RARE, MAGNETIC IZOTROPI

*Descriere:* Materiale nanocompozite bifazice, constituite dintr-o fază cu anizotropie magnetică pronunțată (așa-numita fază magnetic dură) și o fază cu anizotropie magnetică redusă (așa-numita fază magnetic moale), faze între care apare fenomenul de interacție de schimb și durificarea fazei magnetice moi. Efectul global interacției este o anizotropie magnetică mai mică a nanocompozitului rezultat, cu o creștere concomitentă a magnetizației lui la saturație  $M_s$ , deci și a magnetizației sale remanente  $M_r$ .

*Caracteristici:*

- inducție remanentă:  $B_r > 0,7$  T;
- coercivitate intrinsecă –  $H_{cJ} > 500$  kA/m;
- raport  $M_r/M_s > 0,58$

*Avantaje:*

- conținut mai redus de pământuri rare, așadar și o rezistență la coroziune ridicată comparativ cu cea a magneților pe bază de pământuri rare, sinterizați sau aglomerați;
- cost de producție mai redus;
- performanțe magnetice ridicate;
- rezistență mecanică bună.

*Aplicații:* circuite magnetice; mașini electrice și tractoare speciale.

### 4. MAGNEȚI PERMANENȚI AINiCo

*Descriere:* magneți permanenți constituiți în principal din combinații de aluminiu, nichel, cobalt și fier, dar mai pot avea în compoziție și alte elemente: cupru, titan, niobiu. ICPE-CA produce magneți permanenți Alnico atât în varianta izotropă, cât și anizotropă. Magneții izotropi pot fi magnetizați în orice direcție, în timp ce magneții Alnico anizotropi se pot magnetiza într-o singură direcție predefinită și posedă performanțe magnetice mai ridicate.

*Caracteristici:*

- Inducție remanentă  $B_r$ , (T) – Magneți anizotropi – 0,70 – 1,22, Magneți izotropi – 37-86 – prin turnare; Magneți izotropi – prin aglomerare;
- Câmp coercitiv  $H_c$ , (kA/m) – Magneți anizotropi – 40 – 105, Magneți izotropi – 0,50 – 0,65 – prin turnare; Magneți izotropi – 79 – 87 – prin aglomerare;

– Produs energetic maxim  $(BH)_{\max}$  ( $\text{kJ/m}^3$ ) –  
Magneți anizotropi-13 – 56, Magneți izotropi –  
0,02 – prin turnare; Magneți izotropi – 0,02 prin  
aglomerare;

– Coeficient de temperatură al  $B_r$   $\alpha(B_r)$ , ( $\%/^{\circ}\text{C}$ ) –  
Magneți anizotropi-0,02 Magneți izotropi – 0,02 –  
prin turnare; Magneți izotropi 0,02 prin aglomerare;

– Coeficient de temperatură al  $H_{cJ}$   $\beta(H_{cJ})$ , ( $\%/^{\circ}\text{C}$ )  
– Magneți anizotropi-0,03+0,007, Magneți izotropi –  
0,03+0,007 – prin turnare; Magneți izotropi –  
0,03+0,007 – prin aglomerare;

– Densitate,  $\rho$  ( $\text{g/cm}^3$ ) – Magneți anizotropi-  
7,1+7,3, Magneți izotropi – 7,1..7,3 prin turnare; ;  
Magneți izotropi – 5,5 – prin aglomerare;

– Temperatură maximă de funcționare  $T_{\max}$ , ( $^{\circ}\text{C}$ )  
– Magneți anizotropi-500, Magneți izotropi – 500 –  
prin turnare; Magneți izotropi-80-prin aglomerare.

– Dimensiune și forme: diverse geometrii

*Avantaje:* stabilitate termică ridicată; rezistență  
mecanică bună.

*Aplicații:* mașini electrice, tractoare, diferite  
dispozitive de prindere, cuplaje, senzori, lagăre,  
aplicații militare și aerospațiale etc.

## 5. MAGNEȚI PERMANENȚI AGLOMERAȚI PE BAZĂ DE NdFeB

*Descriere:* magneți permanenți izotropi, realizați  
prin înglobarea pulberilor magnetice microcristaline  
de aliaj NdFeB în matrici polimerice.

*Caracteristici:*

– Inducție remanentă,  $B_r$  (T) – 0,48 .. 0,58 – prin  
injecție, 0,60 ... 0,65-prin compactare;

– Câmp coercitiv  $H_{cB}$  (kA/m) : 310 – 380 – prin  
injecție, 400 – 445-prin compactare.

$H_{cJ}$  (kA/m) : > 635 – prin injecție, 1035... 1350-  
prin compactare;

– Produs energetic maxim  $(BH)_{\max}$  ( $\text{kJ/m}^3$ )  
39,8 ..55,70,12 – prin injecție, > 63,7-prin compactare;

– Coeficient de temperatură al  $B_r$   $\alpha(B_r)$  ( $\%/^{\circ}\text{C}$ ) : –  
0,12 – prin injecție, – 0,13 – prin compactare;

– Coeficient de temperatură al  $H_{cJ}$   $\beta(H_{cJ})$ , ( $\%/^{\circ}\text{C}$ ):  
– 0,35 – prin injecție, – 0,40 – prin compactare

– Densitate,  $\rho$  ( $\text{g/cm}^3$ ): – 4,85-prin injecție, 5,8..6  
– prin compactare;

– Temperatură maximă de funcționare,  $T_{\max}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) :  
140 – prin injecție, 150 – prin compactare;

– Liant: PA12 – prin injecție, Epoxi – compactare  
Dimensiune și forme: diverse geometrii

*Aplicații:* mașini electrice și tractoare speciale  
pentru micromotoare de c.a., fără perii.

## 6. MAGNEȚI SINTERIZAȚI NdFeB CU STABILITATE RIDICATĂ

*Descriere:* magneți permanenți izotropi sau  
anizotropi, realizați prin tehnici specifice metalurgiei  
pulberilor.

*Caracteristici:* inducție remanentă,  $B_r$ : min. 1T;  
câmp coercitiv intrinsec  $H_{cJ}$ : min. 1750 kA/m; produs  
energetic maxim  $(BH)_{\max}$ : min.175  $\text{kJ/m}^3$ ; temperatura  
maximă de funcționare: 150..200 $^{\circ}\text{C}$ ; coeficient de  
temperatură al  $B_r$  în domeniul 20.. 100 $^{\circ}\text{C}$ : – 0,1  $\%/^{\circ}\text{C}$ ;  
coeficient de temperatură al  $H_{cJ}$  în domeniul 20..  
100 $^{\circ}\text{C}$ : – 0,55  $\%/^{\circ}\text{C}$ ; densitate: min. 7,5  $\text{g/cm}^3$ .

*Aplicații:* circuite magnetice pentru motoare,  
tractoare, separatoare magnetice, cuplaje magne-  
tice pentru pompe, dispozitive pentru tratarea  
magnetică a fluidelor etc.

## 7. NANOPULBERI FeCo IZOLATE ELECTRIC

*Descriere:* realizate prin sinteză chimică, pornind  
de la săruri de Fe, Co și Al.

*Caracteristici:* magnetizație specifică la saturație:  
100....200 emu/g; câmp coercitiv – 14,35 kA/m; rezis-  
tăvitate electrică după sinterizare de ordinul a  
10<sup>14</sup>Ω·m.

*Avantaje:*

– magnetizație la saturație crescută datorită  
particulelor de compus FeCo;

– rezistivitate electrică îmbunătățită datorită  
prezenței stratului de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

– scăderea pierderilor magnetice;

– îmbunătățirea rezistenței mecanice pentru  
piesele masive realizate din aceste nanopulberi,  
comparativ cu aliajele Fe-Si disponibile actual,  
utilizate sub forma tolelor metalice ștanțate pentru  
construcția miezurilor magnetice.

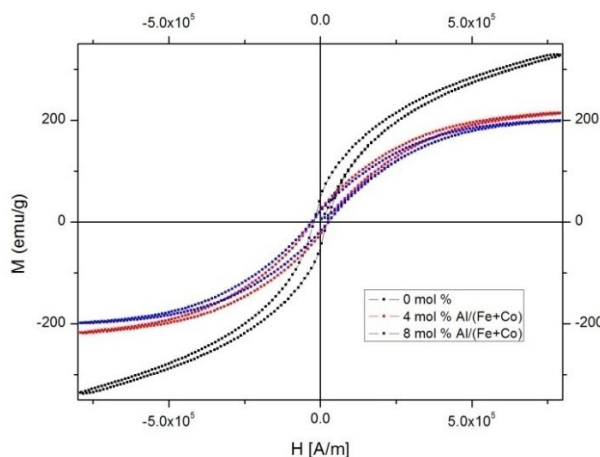


Fig. 1. Curbe de histerezis ale nanopulberilor FeCo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cu  
diferite rapoarte molare Al/Fe+Co.

*Aplicații:* miezuri rotorice sinterizate pentru mașinile electrice cu viteză mare de rotație; înlocuirea altor materiale magnetice moi în convertoare de putere, antene cu microunde, dispozitive de tip *rectenna*, piese electronice din ferită pentru frecvențe înalte, cum ar fi inductoare, bobine, senzori, miezuri de diferite forme pentru transformatoare, circuite hibride, transformatoare planare, telecomunicații, calculatoare.

## 8. CILINDRU HALLBACH-GENERATOR DE CÂMP MAGNETIC ROTAȚIONAL ȘI OMOGEN

*Descriere:* Cilindrul Hallbach este un generator de câmp magnetic rotațional și omogen utilizat la sistemele de măsurare a proprietăților magnetice ale materialelor. Ansamblul este format din doi cilindri A și B dispuși concentric cu magneți permanenți 1 și 2.

*Caracteristici:* Pentru omogenizarea câmpului magnetic cu o variație mai mică de 5% se realizează un cilindru A2 cu secțiune diferită, astfel că la rotirea celor doi cilindri A și B în sensuri opuse se obțin valori ale câmpului magnetic de la 0,05 T până la 1 T cu omogenitate de 96 % – 97 % în interiorul cilindrului A2.

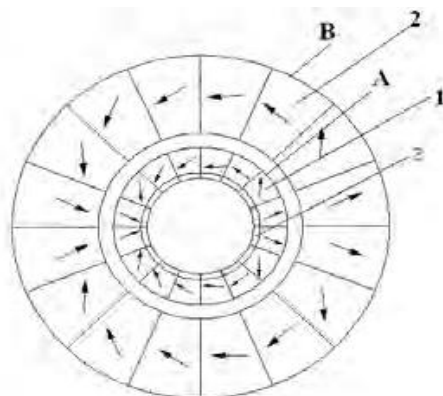


Fig. 2. Cilindrul Hallbach.

*Avantaje:* costuri de fabricație scăzute; reducerea consumului de energie pentru producere de câmpuri magnetice uniforme.

*Aplicații:* sistemele de măsurare a proprietăților magnetice ale materialelor.

## 9. CONDUCTOR ELECTRIC AERIAN AUTOPROTECTOR LA DEPUNERILE DE CHICIURĂ ȘI GHEAȚĂ PENTRU LINIILE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

*Descriere:* Asigură autoprotecția la depunerile de chiciură/ gheață pe liniile aeriene de transport de energie electrică.

*Caracteristici:* 220 – 400 kV; numărul de fire cu proprietăți de autoprotecție este dimensionat în funcție de cablul utilizat.

*Avantaje:* Comutația da/nu pentru aportul caloric suplimentar care asigură nedepunerea de chiciură/ gheață este realizată de modificarea prestabilită și reversibilă a unor proprietăți termosensibile ale aliajului multifuncțional funcție de temperatura ambientală, acest aport caloric suplimentar crescând progresiv cu scăderea temperaturii; la temperaturi ambientale pozitive nu se produce un aport termic/caloric suplimentar; are aceleași caracteristici constructive și de exploatare ca și conductorii similari standardizați.

*Aplicații:* Linii electrice aeriene de înaltă tensiune din zonele cu clima rece severă.

## 10. PULBERE FLUORESCENTĂ (PDMF) PENTRU CONTROL DEFECTOSCOPIC NEDISTRUCTIV AL MATERIALELOR FEROMAGNETICE (METODA UMEDĂ)

*Descriere:* PDMF este nanopulberemagnetică care prezintă fluorescență galben-verzuie în lumină UV. Acest produs reprezintă o noutate pe plan național și este utilizat pentru depistarea discontinuităților foarte fine de la suprafața sau din imediata apropiere a suprafeței pieselor feromagnetice și subansamblelor feromagnetice în diferite etape: control de recepție, control final, control interfațic, control de întreținere și revizii.

*Caracteristici:* culoare în ultraviolet-galben-verde; dimensiunea medie a particulei: < 50 nm; analiza cristalografică (structura)-magnetită; magnetizare de saturație  $M_s$ : < 35 emu/g; magnetizare remanentă: < 10 emu/g.

*Avantaje:* obținerea unor dimensiuni ale nanoparticulelor mai mici de 50 nanometri pentru a depista cele mai fine defecte după aplicare pe suprafața pieselor feromagnetice; consum energetic redus.

*Aplicații:* întreprinderi constructoare de mașini, reparații și construcții industriale, transporturi.

## 11. PULBERE FLUORESCENTĂ (PDMUF) PENTRU CONTROL DEFECTOSCOPIC NEDISTRUCTIV AL MATERIALELOR FEROMAGNETICE (METODA USCATĂ)

*Descriere:* PDMUF este pulberemagnetică care prezintă fluorescență galben-verzuie în lumină UV. Acest produs reprezintă o noutate pe plan național și

este utilizat pentru evidențierea defectelor de suprafață (sau aflate la mică adâncime) ale pieselor și subansamblelor feromagnetice în diferite etape: control final și de recepție, control interfazic, control de întreținere și revizii.

*Caracteristici:* magnetizare de saturație – 217 Gs.cm<sup>3</sup>/g; aspect-pulbere fluorescentă (culoare de fluorescență galben-verzui); culoare de contrast-fluorescentă; sensibilitate de detecție a defectelor pe etalon circular (ASTM E 709); densitate aparentă- 1,8...3,7 g/cm<sup>3</sup>; granulația-40...300 μm.

*Avantaje:* consum energetic redus; elimină riscul îmbolnăvirii (prin inhalarea particulelor de pulbere < 40 μm) personalului care realizează controlul defectoscopic nedistructiv.

*Aplicații:* Întreprinderi constructoare de mașini, reparații construcții industriale, transporturi.

## **12. ECRANE FLEXIBILE PENTRU PROTECȚIE ELECTROMAGNETICĂ**

*Descriere:* Materiale compozite realizate prin înglobarea într-o matrice elastomerică de microfibre de cupru și aliaje magnetice moi, izolate în sticlă, utilizabile pentru realizarea de ecrane de protecție electromagnetică.

*Caracteristici:* densitatea: 0,98 – 1,1 g/cm<sup>3</sup>; atenuarea radiației electromagnetice: 25–30 dB pentru domeniul de frecvență: 3 – 16 GHz și 1,0 mm grosime.

*Avantaje:* flexibilitate ridicată datorită prezenței matricei elastomerice; aderență bună la suprafețe diverse.

*Aplicații:* În aviație, pentru aparatele și echipamentele ce lucrează în domeniul frecvențelor superînalte: altimetre radar (4,3 GHz), sisteme de aterizare cu microunde (5,0 – 5,1 GHz), sisteme de navigație Doppler (8,8 GHz), radare meteorologice (9,375 GHz).

## **13. SCUT ELECTROMAGNETIC PENTRU DOMENIUL MICROUNDDELOR SEEM (0,8-10 GHz)**

*Descriere:* Scutul electromagnetic SEEM<sub>(0,8-10GHz)</sub> este un material compozit pe bază de materiale magnetice recuperate din cenușă de pirită și pulbere de ferită dispersate într-o matrice de cauciuc.

*Caracteristici:* Rezistența la rupere: min. 3,5 MPa; Densitate: 1,6...1,9 g/cm<sup>3</sup>; Alungirea la rupere: min. 300%; Duritatea în grade de duritate Shore A: min. 3,5 daN/cm<sup>2</sup>; Rezistența la întindere prin înconvoiere: 50±5<sup>0</sup>; Atenuarea de transmisie funcție de frecvență: – 0,800 GHz: 8±20% dB; –

0,900 GHz: 10±20% dB; -1,000 GHz: 13±20% dB; – 1,300 GHz: 16±20% dB; – 2,300 GHz: 12±20% dB; - 3,3 00 GHz: 13±20% dB; – 4,300 GHz: 19±20% dB; – 8,500 GHz: 19±20% dB ; -9,000 GHz: 26±20% dB; – 10,000 GHz: 29±20% dB.

*Avantaje:* ecologizarea mediului prin reducerea deșeurilor din haldele de pirită și re folosirea materialului magnetic din cenușă de pirită; material flexibil datorită matricei de cauciuc; se poate executa în forme și dimensiuni variate.

*Aplicații:* Scutul electromagnetic SEEM<sub>(0,8-10GHz)</sub> este utilizat ca material de construcții în zonele cu risc crescut de expunere la câmpuri electromagnetice în domeniul de frecvență 0,8 – 10 GHz.

## **14. ECRAN ELECTROMAGNETIC EEM (50 HZ-1 MHz)**

*Descriere:* Ecranul electromagnetic EEM<sub>(50Hz-1MHz)</sub> este un material compozit pe bază de materiale magnetice recuperate din cenușă de pirită, realizat sub formă de cărămizi compacte care asigură protecția la câmpuri electromagnetice de frecvență joasă (50Hz) și pentru câmpuri electromagnetice de radiofrecvență.

*Caracteristici:* aspect – placă compactă de formă dreptunghiulară ( $L = 12\text{cm}$ ,  $l = 80\text{cm}$ ,  $h = 1,5\text{cm}$ ); densitate: 2,3...2,9 g/cm<sup>3</sup>; rezistența la îngheț – dezgheț (gelivitatea)-după cinci cicluri de îngheț – dezgheț nu prezintă fisuri pe suprafață; rezistența la șoc: nu prezintă fisuri; rezistența la compresiune: min. 3,5daN/cm<sup>2</sup>; rezistența la întindere prin înconvoiere: min. 0,6daN/cm<sup>2</sup>; permeabilitatea relativă ( $\mu_r$ ) în domeniul de frecvențe 100 kHz... 1 MHz: 1,5±20%; atenuarea undelor electromagnetice în funcție de frecvență: 100 kHz: 700±30% Np/m; 500 kHz: 1,7x10<sup>3</sup>±30% Np/m; 600 kHz: 1,9x10<sup>3</sup>±30% Np/m; 700 kHz: 2 x10<sup>3</sup>±30% Np/m; 800 kHz: 2,2x10<sup>3</sup>±30% Np/m; 900 kHz: 2,4 x10<sup>3</sup>±30% Np/m; 1 MHz: 2,5x10<sup>3</sup>±30% Np/m; conductivitatea în domeniul frecvențelor 100 kHz... 1 MHz: 1,5±20% S/m;

*Avantaje:* ecologizarea mediului prin reducerea deșeurilor din haldele de pirită și re folosirea materialului magnetic din cenușă de pirită; se poate executa în diverse forme și dimensiuni.

*Aplicații:* ecranul electromagnetic EEM este utilizat ca material de construcții în zonele cu risc crescut de expunere la câmpuri electromagnetice de frecvență joasă și de radiofrecvență.

## **15. CUPLAJE MAGNETICE**

*Caracteristici tehnice:* cuplu mecanic: 27–59–100 Nm; lungimea cuplajului: 20–40–60 mm.

*Condiții operare:* temperatura maximă: 150°C.

*Aplicații:* instalații industriale complexe din industria chimică și petrochimică, ce au incluse pompe etanșe, echipamente de impregnare.

## 16. ELEMENTE DE SECURIZARE CU MICROFIRE FEROMAGNETICE

*Descriere:* Elementele de securizare sunt constituite din materiale compozite inteligente, realizate prin înglobarea de microfibre feromagnetice într-o matrice celulozică (hârtie), fapt ce permite utilizarea lor ca elemente de securizare în validarea electronică. Autentificarea hârtiei securizate se realizează prin răspuns de tip „DA” sau „NU” cu un detector special. La validarea prezenței în hârtie a microfibrilor, detectorul dă un semnal sonor și vizual.

Caracteristici de calitate ale hârtiei securizate cu microfibre feromagnetice: masa specifică: 60 – 130 g/mp; grosime: 0,09 – 0,18 mm; densitate aparentă: 0,65 – 0,72 g/cm<sup>3</sup>; sarcină de rupere: 40 – 110 N; lungime de rupere: 6,0 – 6,5 km; rezistență la plesnire: 200 – 450 kPa; rezistență la îndoire: 380 – 450 de ori; absorbție apă (grad de înclieiere), Cobb<sub>60</sub>: 28 – 32 g/m<sup>2</sup>; conținut de cenușă: 5,0 – 8,5%; densitate medie microfibre feromagnetice în foaia de hârtie: 1880 – 2380 microfibre/m<sup>2</sup>; randament de retenție a microfibrilor feromagnetice: 79 – 84%.

*Avantaj:* metoda securizării cu microfibre constă în posibilitatea identificării de la distanță, în stabilitatea proprietăților magnetice chiar și la temperaturi înalte și medii corozive, o gamă mare de temperaturi funcționale, stabilitatea la ecranare (codurile ecranate cu panouri metalice pot fi citite), stabilitate la acțiuni mecanice, dimensiuni și consum mic, datorită masei lor specifice mici.

*Aplicații:* securizarea hârtiilor de valoare, a documentelor fiscale și a timbrelor speciale, cum ar fi banderolele pentru băuturi alcoolice și timbrele pentru țigări, bilete pentru concerte și spectacol.

## 17. MICROFIRE IZOLATE ÎN STICLĂ DIN Cu ȘI FeSiB

*Descriere:* Preparate prin procedeul Taylor – Ulitovski, microfibrele metalice izolate în sticlă pot fi, funcție de natura miezului metalic, conductive, rezistive, magnetic moi, magnetostrictive, cu magnetorezistență gigant sau cu magnetoimpedanță gigant, cu efect de memoria formei. ICPE-CA produce microfibre cu proprietăți conductive sau magnetice din diferite metale pure sau aliaje: cupru, respectiv FeSiB. La cererea clientului se pot produce și microfibre din metale pure (platina, cobalt, nichel,

aur, argint) sau aliaje, pornind de la metale, semi-metale, semiconductoare (siliciu, germaniu).

*Caracteristici:* microfibrul este format dintr-un miez de metal în formă cilindrică, acoperit cu un strat izolator de sticlă. Diametrul miezului de metal poate fi de la 1 la 50 μm, respectiv grosimea izolației de sticlă de la 1 la 20 μm cu o lungime de până la 2 km, depinzând de compoziția chimică a miezului metalic. Funcție de parametrii de procesare se pot obține diferite structuri ale miezului de metal: policristaline, cu dimensiuni diferite ale cristalelor (microcristaline, nanocristaline), amorf.

*Avantaj:* Prezența învelișului de sticlă le conferă acestora rezistență la coroziune, precum și posibilitatea dezvoltării unor proprietăți magnetice datorită comportării diferite la solicitări externe (temperatură sau tensionare mecanică) a miezului metalic și a învelișului de sticlă.

Dimensiunile extrem de reduse (grosimea de 2-3 ori mai mică decât a firului de păr) și flexibilitatea microfibrilor sunt avantajoase în vederea înglobării lor, prin mijloace diferite, în cele mai diverse matrici: celulozice, polimerice, textile, dând naștere astfel unor structuri compozite cu un pronunțat caracter funcțional. Datorită masei lor specifice mici, în aplicații se utilizează cantități reduse de microfibre.

*Aplicații:* elemente pentru codificare magnetică de tip *bias*, materiale pentru ecranare electromagnetică, etichete antifurt, autentificarea produselor și documentelor, controlul accesului, elemente pentru încălzire pardoseli, microconductoare, senzori și actuatori, minitransformatoare de înaltă tensiune.

## 18. COMPOZIT MAGNETIC MAGNETITĂ-ZAHARIDĂ PENTRU DIAGNOSTICAREA TUMORILOR MALIGNNE (BIOMAG)

*Descriere:* BIOMAG este un compozit magnetic: magnetită-zaharidă încapsulat în polimer biocompatibil, cu dimensiuni ale particulelor de max. 30 nm.

Acest produs este destinat diagnosticării tumorilor maligne și reprezintă o noutate pe plan național și internațional.

*Caracteristici:* dimensiuni: 8 – 30 nm; formarea compozitului magnetic tip magnetită-zaharidă: magnetizarea la saturație: > 20 emu/g; câmp coercitiv: > 100 Oe; spectrul IR trebuie să prezinte benzi caracteristice frecvențelor:

- inelul zaharidei 2-deoxi-d-glucoză:  $\nu_{\text{zaharida}}$  în domeniul (800 – 900) cm<sup>-1</sup>;
- vibrațiile  $\nu_{\text{C-OH}}$  la valoarea 1100 cm<sup>-1</sup>;
- vibrațiile  $\nu_{\text{C-C}}$  în domeniul (1000 – 1100) cm<sup>-1</sup>;

- vibrațiile  $v_{C-H}$  în domeniul (1000 – 1120)  $cm^{-1}$ ;
- vibrațiile  $v_{OH}$  în domeniul (1300 – 1400)  $cm^{-1}$ ;
- vibrațiile  $\delta_{HOH}$  în domeniul (1400-1500)  $cm^{-1}$ ;

*Avantaje:* înlătură dezavantajele unor metode de diagnosticare care au la bază iradierea; stabilitate fizică ridicată în mediu fiziologic; diminuarea poluării mediului înconjurător.

*Aplicații:* Biomedicale, în MRI pentru diagnosticarea tumorilor maligne.

## 19. ECRAN ELECTROMAGNETIC DIN TESATURĂ COMPOZITĂ CU MICROFIRE FEROMAGNETICE CA ELEMENT DE ECRANARE

*Descriere:* Materiale inteligente, realizate prin inserția de microfibre de diferite aliaje într-o matrice textilă.

*Caracteristici:* Proprietățile obținute pe modele experimentale sub formă de covorașe de 12x12 cm, de compoziții diferite de microfibre torsadate cu fir textil de tip dacron sunt următoarele: atenuare electromagnetică: 38dB – 45dB; rezistența la tracțiune:  $R_m = 600 - 2000$  MPa

*Avantaje:* Materialele de ecranare au ca principal avantaj protecția și siguranța (sub formă de îmbrăcăminte) a personalului ce execută lucrări de mentenanță și service în zone cu emisii de radiații electromagnetice peste limita admisă.

*Aplicații:* Sisteme de protecție împotriva radiațiilor electromagnetice.

## 20. PROCEDEU DE SECURIZARE A HÂRTIEI UTILIZÂND MICROFIRE FEROMAGNETICE

*Descriere:* Elementele de securizare constau din materiale compozite, realizate prin înglobarea microfivelor feromagnetice izolate în sticlă într-o matrice celulozică și un detector, special proiectat, care validează prezența microfivelor feromagnetice. Se asigură autenticitatea produselor etichetate, prin răspuns “DA” sau “NU”.

*Caracteristici:* Microfibrele feromagnetice izolate în sticlă sunt mai mici de 7 mm în lungime și 20  $\mu m$  în diametru și au o coercivitate de 5 – 25 A/m. Detectorul dă un semnal optic și acustic, indicând prezența microfivelor feromagnetice de la o distanță de cel mult 5 mm. Prin designul special, detectorul sesizează microfivelor, chiar dacă în acel loc sunt plasate alte materiale feromagnetice și nu este influențat de alte câmpuri electromagnetice, generate de telefoane mobile, display-uri sau alte dispozitive electronice.

*Avantaje:* Principalele argumente în favoarea acestei noi tehnologii sunt precizia, fiabilitatea, productivitatea ridicată, posibilitatea automatizării procesului și posibilitățile multiple de funcționare. Avantajele securizării cu microfibre sunt: posibilitatea identificării la distanță; proprietăți magnetice stabile, chiar și la temperaturi ridicate și medii corozive; domeniu larg de temperaturi de funcționare; stabilitate la acțiunea factorilor mecanici; dimensiuni reduse și consum scăzut; raport atractiv preț – performanță.

*Aplicații:* securizarea hârtiilor de valoare, a documentelor fiscale și a timbrelor speciale. Tehnologia de fabricație, utilizând microfibre magnetice (invizibile cu ochiul liber), este extrem de sigură, dar și de câteva ori mai ieftină decât securizarea RFID curentă. Hârtia securizată poate fi întrebuințată și ca element antifurt sau element de validare, cu scopul identificării produselor contrafăcute.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Hadjipanayis. G. C., *Nanophase hard magnets*, Magnetism and Magnetic Materials, 200, pp. 373-391, 1999
- [2] Mehdi Zamanpour, *Cobalt-based Magnetic Nanoparticles: Design, Synthesis and Characterization*, Dissertation Northeastern University, Bosto, 2014
- [3] Willard M. A., L. K. Kurihara, E. E. Carpenter, S. Calvin and V. G. Harris, *Chemically prepared magnetic nanoparticles*, International materials reviews, 49, pp. 125 – 170, 2004
- [4] Sun S., C. B. Murray, D. Weller, L. Folks and A. Moser, *Monodisperse FePt Nanoparticles and Ferromagnetic FePt Nanocrystal Superlattices*, Science, 287, pp. 1989–1992, 2000
- [5] R. D. K. Misra, T. Ha, Y. Kadman, C. J. Powell, M. D. Stiles, R. D. McMichael and W. E. Eglhoff, *STM studies of GMR spin valves*, MRS Proceeding, 384, pp.373 – 383, 1995
- [6] C. Meny, P. Panissod, P. Humbert, J. P. Nozienes, V. S. Speriosu, B. A. Gurney and R. Zehringer, *Structural study of Cu/Co/Cu/ NiFe/FeMn spin valves by nuclear magnetic resonance*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 121, pp.406 – 408, 1993
- [7] T. C. Huang, J. P. Nozieres, V. S. Speriosu, B. S. Gurney and H. Lefakis *Effect of annealing on the interfaces of giant-magnetoresistance spin-valve structures*, Applied Physics Letter, 62, pp.1478 – 1480, 1992
- [8] S. Soeya, S. Tadokoro, T. Imagawa, M. Fuyama and S. Narishige, *Magnetic exchange coupling for bilayered Ni81Fe19/NiO and trilayered Ni81Fe19/NiFeNb/NiO films*, Journal of Applied Physics, 74, pp.6297 – 6301, 1993
- [9] W. F. Egelhoff Jr., P. J. Chen, C. J. Powell, M. D. Stiles, R. D. McMichael, C.-L. Lin, J. M. Sivertsen, J. H. Judy, K. Takano and A. E. Berkowitz, *The trade off between large GMR and small GMR and small coercivity in symmetric spin valves*, Journal of Applied Physics, 79, pp.2491, 1996
- [10] M. M. Miller, G. A. Prinz, S. F. Cheng and S. Bounnak, *Detection of a micron sized magnetic sphere using a ring-shaped anisotropic magnetoresistance-based sensor: A model for a magnetoresistance-based*, Applied Physics Letter, 81, pp. 2211-2214, 2002
- [11] Blanc-Beguine F, Nabily S, Gieraltowski J, Turzo A, Querellou S, Salaun PY, *Cytotoxicity and GMI bio-sensor detection of maghemite nanoparticles internalized into*

- cells. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 321, 192–197, 2009
- [12] Cavalli G, Banu S, Ranasinghe T, Broder GR, Martins HFP, Neylon C, Morgan H, Bradley M, Roach PL, *Multistep synthesis on SU-8: combining microfabrication and solid-phase chemistry on a single material*, *Journal of Combined Chemistry*, 9, 462–472, 2007
- [13] Choi JW, Oh KW, Thomas JH, Heineman WR, Halsall HB, Nevin JH, Helmicki AJ, Henderson HT, Ahn CH, *An integrated microfluidic biochemical detection system for protein analysis with magnetic bead-based sampling capabilities*. *Lab Chip* 2, 27–30, 2002
- [14] Golub TR, Slonim DK, Tamayo P, Huard C, Gaasenbeek M, Mesirov JP, Coller H, Loh ML, Downing JR, Caligiuri MA, Bloomfield CD, Lander ES, *Molecular classification of cancer: class discovery and class prediction by gene expression monitoring*, *Science*, 286, 531–537, 1999
- [15] Graham DL, Ferreira HA, Bernardo J, Freitas PP, Cabral JMS, *Single magnetic microsphere placement and detection on-chip using current line designs with integrated spin valve sensors: biotechnological applications*. *Journal of Applied Physics*, 91, 7786–7788, 2003
- [16] Togawa K, Sanbonsugi H, Sandhu A, Abe M, Narimatsu H, Nishio K, Handa H, *High sensitivity InSb Hall effect biosensor platform for DNA detection and biomolecular recognition using functionalized magnetic nanobeads*, *Japanese Journal of Applied Physics*, 44, 1494–1497, 2005
- [17] Mihajlović G., K. Aledealat, P. Xiong, S. Molnár, M. Field and G. J. Sullivan, *Magnetic characterization of a single superparamagnetic bead by phase-sensitive micro-Hall magnetometry*, *Applied Physics Letter*, 91, pp. 172518–172521, 2007
- [18] Shen W., L. C. Mathison, V. A. Petrenko and B. A. Chin, *A pulse system for spectrum analysis of magnetoelastic biosensors*, *Applied Physics Letter*, 96, pp. 163502–163505, 2010
- [19] Gertz F., R. Azimov, and A. Khitun, *Biological cell positioning and spatially selective destruction via magnetic nanoparticles*, *Applied Physics Letter*, 101, pp. 013701–013704, 2012
- [20] A.S. Lubbe, C. Bergemann, H. Riess, F. Schriever, P. Reichardt, K. Possinger, M. Matthias, B. Dorken, F. Herrmann, R. Gurtler, P. Hohenberger, N. Haas, R. Sohr, B. Sander, A.J. Lemke, D. Ohlendorf, W. Huhnt, D. Huhn, *Clinical experiences with magnetic drug targeting: a phase I study with 4'-epidoxorubicin in 14 patients with advanced solid tumors*, *Cancer Research* 56, pp. 4686–4693, 1996
- [21] C. Zhang, B. Wangler, B. Morgenstern, H. Zentgraf, M. Eisenhut, H. Untenecker, R. Kruger, R. Huss, C. Seliger, W. Semmler, F. Kiessling, *Silica – and alkoxy-silane-coated ultrasmall superparamagnetic iron oxide particles: a promising tool to label cells for magnetic resonance imaging*, *Langmuir*, 23, pp. 1427–1434, 2002
- [22] R. Gref, M. Luck, P. Quellec, M. Marchand, E. Dellacherie, S. Harnisch, T. Blunk, R.H. Muller, *'Stealth' corona-core nanoparticles surface modified by polyethylene glycol (PEG): influences of the corona (PEG chain length and surface density) and of the core composition on phagocytic uptake and plasma protein adsorption*, *Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces*, 18, pp. 301–313, 2000
- [23] M. Mikhaylova, Y.S. Jo, D.K. Kim, N. Bobrysheva, Y. Andersson, T. Eriksson, M. Osmolowsky, V. Semenov, M. Muhammed, *The effect of biocompatible coating layers on magnetic properties of superparamagnetic iron oxide nanoparticles*, *Hyperfine Interactions*, 156, pp. 257–263, 2004
- [24] M. Veiseh, P. Gabikian, S.B. Bahrami, O. Veiseh, M. Zhang, R.C. Hackman, A.C. Ravanpay, M.R. Stroud, Y. Kusuma, S.J. Hansen, D. Kwok, N.M. Munoz, R.W. Sze, W.M. Grady, N.M. Greenberg, R.G. Ellenbogen, J.M. Olson, *Tumor paint: a chlorotoxin: Cy5.5 bioconjugate for intraoperative visualization of cancer foci*, *Cancer Research*, 67, pp. 6882–6888, 2007
- [25] Glover P, Mansfield P. *Limits to magnetic resonance microscopy*. *Reports on Progress in Physics* 65, pp. 1489–1511, 2001
- [26] M.E. Kooi, V.C. Cappendijk, K. Cleutjens, A.G.H. Kessels, P. Kitslaar, M. Borgers, P.M. Frederik, M. Daemen, J.M.A. van Engelsehoven, *Accumulation of ultrasmall superparamagnetic particles of iron oxide in human atherosclerotic plaques can be detected by in vivo magnetic resonance imaging*, *Circulation*, 107, pp. 2453–2458, 2003
- [27] R.A. Trivedi, J.M. U-King-Im, M.J. Graves, J.J. Cross, J. Horsley, M.J. Goddard, J.N. Skepper, G. Quartey, E. Warburton, I. Joubert, L.Q. Wang, P.J. Kirkpatrick, J. Brown, J.H. Gillard, *In vivo detection of macrophages in human carotid atheroma — temporal dependence of ultrasmall superparamagnetic particles of iron oxide enhanced MRI*, *Stroke*, 35, pp 1631–1635, 2004
- [28] K. Schulze, A. Koch, B. Schopf, A. Petri, B. Steitz, M. Chastellain, M. Hofmann, H. Hofmann, B. von Rechenberg, *Intraarticular application of superparamagnetic nanoparticles and their uptake by synovial membrane — an experimental study in sheep*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 293, pp 419–432, 2004
- [29] P. Varallyay, G. Nesbit, L.L. Muldoon, R.R. Nixon, J. Delashaw, J.I. Cohen, A. Petrillo, D. Rink, E.A. Neuwelt, *Comparison of two superparamagnetic viral sized iron oxide particles ferumoxides and ferumoxtran-10 with a gadolinium chelate in imaging intracranial tumors*, *American Journal of Neuroradiology*, 23, pp 510–519, 2002
- [30] Carroll K, *Core-shell Nanoparticles: Synthesis, Design, and Characterization*, Ph.D. Dissertation, Virginia Commonwealth University, 2007

### Despre autori

Dr. ing. fiz. **Eros Alexandru PĂTROI**  
INCDIE ICPE-CA

Absolvent a Universității București, Facultatea de Fizică și cercetător științific I la INCDIE ICPE-CA, șef laborator Materiale Magnetice în Departamentul de Materiale Avansate. Este doctor în Inginerie Electrică, titlu obținut la Universitatea Politehnică București. A efectuat stagii de pregătire pentru redactarea tezei în Italia la L' Instituto Nazionale di Ricerca Metrologico, Torino. Este master în Magnetism Tehnic și Aplicat. A obținut medalii și premii, a scris 20 de articole în reviste ISI și a obținut 10 brevete de invenție.. A scris 2 cărți de specialitate și este membru în proiecte de cercetare.



## CERCETARE ȘI EXPERTIZĂ INGINEREASCĂ LA CONSTANȚA

Prof. dr. ing. **Gheorghe SAMOILESCU**  
Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța

Este absolvent al Institutului de Marină – Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța și este cadru didactic la această instituție din 1991, iar din anul 2007 este profesor universitar, ocupând de-a lungul anilor diverse funcții de conducere în managementul învățământului universitar și a cercetării. Deține o invenție, 6 premii pentru cărți în domeniul știință și Tehnică, a scris 4 tratate și 27 cărți și peste 200 articole publicate în reviste științifice sau comunicate la conferințe și simpozioane naționale și internaționale. Membru AGIR și vicepreședinte al Filialei AGIR Constanța, precum și membru al următoarelor asociații: SRPRNI, Asociația Internațională a Inginerilor din Construcția de Mașini, IEEE, Asociația de Compatibilitate Electromagnetică din România etc.

Sef Lucrări dr. ing. **Adelina BORDIANU**  
Universitatea Politehnica București

Absolventă a Universității Politehnica București din 2009 și cadru didactic la această instituție. Este doctor în Inginerie Electrică, titlu obținut la Universitatea Politehnica București în anul 2012. A efectuat stagii de pregătire pentru redactarea tezei în Italia și Franța. Este master în Magnetism Tehnic și Aplicat. A scris 42 articole-13 în volumele unor manifestări științifice internaționale recunoscute și indexate, 13 la reviste ISI și BDI, 4 în reviste recunoscute internațional și CNCISIS, 10 în volumele unor manifestări științifice internaționale și 2 la conferințe naționale. A scris o carte de specialitate și este membru în 3 proiecte de cercetare. Este membru IEEE.